

Der Einfluß von Rotationswinkel, Strahlen-
einfallswinkel und Objektlage auf
die Qualität transversaler Schichtaufnahmen

von

HELMUT JUPITZ

Aus der Röntgenabteilung der Medizinischen
Universitätsklinik Erlangen

Direktor: Prof. Dr. med. N. H e n n i n g

Der Einfluss von Rotationswinkel, Strahleneinfallswinkel und Objektlage auf die Qualität transversaler Schichtaufnahmen.

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
zu
Erlangen



Vorgelegt von
Helmut J u p i t z
aus Nürnberg

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen.

Dekan: Prof. Dr. C. K o r t h

Referent: Prof. Dr. N. H e n n i n g

Tag der mündlichen Prüfung: 22.3.1957

I. Einleitung.

Die Transversalplanigraphie dient zur isolierten röntgenologischen Darstellung horizontaler Körperschichten. K i e f e r , V i e t e n , F r a i n , L a c r o i x und A m i s a n o lösten das Problem geometrisch, die praktische Verwirklichung geschah durch W a t s o n (1938), D e A b r e u (1944), V a l l e b o n a (1948), G e b a u e r und W a c h s m a n n (1949) unabhängig voneinander.

Für die Möglichkeit, durch eindimensionale Verwischung horizontale Körperschichten isoliert darzustellen, haben K i e f f e r und V i e t e n den geometrischen Nachweis erbracht.

Bei der in der Praxis üblichen Form der Transversalschichtuntersuchung (Transversalschichtgeräte der Firmen Siemens-Reiniger, Zuder, Massiot u.a.) rotieren stehender oder sitzender Patient und senkrecht zur Körperlängsachse gelagerter Film gleichsinnig und synchron einmal (360 Grad) um ihre Achse. Die Röntgenstrahlen treffen auf den horizontalen Film unter einem Winkel > 0 und < 90 Grad. G e b a u e r und W a c h s m a n n haben zunächst einen Einfallswinkel von 30 - 45 Grad, später auch von 22,5 Grad empfohlen. V a l l e b o n a benutzt einen Einfallswinkel von 30 Grad. Fokus, Drehachse des Objektträgers und Filmträgerdrehachse müssen genau in einer Ebene liegen. In Höhe des Schnittpunktes der Verbindungslinie vom Fokus zum Mittelpunkt der Filmebene mit der Drehachse des Patienten liegt die zur Abbildung kommende Schicht. Die Einstellung der Schichthöhe wird durch ein Lichtvisier vorgenommen. Ober- und unterhalb der eingestellten Schicht liegende Objektteile werden auf dem Film kreisförmig verwischt.

J a n k e r hat in richtiger Erkenntnis der Tatsache,

daß die sitzende oder stehende Haltung sowie die Rotation nicht allen Patienten zugemutet werden kann, versucht, ein Universalschichtgerät für Untersuchungen am liegenden Patienten zu konstruieren. Diese Konstruktion ermöglicht auch die Herstellung transversaler Schichtaufnahmen, jedoch nur mit einem Rotationswinkel von etwa 180 Grad. J a n k e r hat seinerzeit die Ansicht geäußert, daß ein Rotationswinkel von 180 Grad genüge. Dieser Ansicht wurde bereits verschiedentlich widersprochen (z.B. O l i v a). H a m m e r ist zwar auch der Meinung, daß mit Rotationswinkeln von 180 Grad und mehr befriedigende Transversalschichtbilder hergestellt werden können, jedoch geht aus seinen Untersuchungen hervor, daß die Qualität der Aufnahmen mit zunehmendem Rotationswinkel besser wird. Auf Grund der Angaben von J a n k e r haben G i a c o b i n i und M a n z i ein Versuchsggerät für Transversalschichtaufnahmen am liegenden Patienten gebaut, das aber nicht serienmäßig hergestellt wird.

Über die Bedeutung des Strahleneinfallswinkels für die Qualität transversaler Schichtaufnahmen existieren bis jetzt wenig einschlägige Untersuchungen. G e b a u e r und W a c h s m a n n hatten bereits aus geometrischen Erwägungen erkannt, daß die Störschatten umso weniger hervortreten, je flacher der Einfallswinkel ist. Sie fürchteten aber seinerzeit die Kontrastverminderung durch zu geringe Schichtdicke bei kleinen Einfallswinkeln. T a k a h a s h i hat gezeigt, daß der Prozentsatz der Rippenstörschatten auf Transversalschichtaufnahmen des Thorax bei einer Verringerung des Einfallswinkels auf unter 20 Grad sehr schnell abnimmt. Aus dieser Untersuchung geht schon hervor, daß offenbar recht enge Beziehungen zwischen der Objektlage (z.B. schräg liegende Rippen) und dem günstigsten Einfallswinkel bestehen. Weitere Untersuchungen über dieses Thema sind bis jetzt nicht bekannt geworden. Wir haben es uns deshalb zur Aufgabe gemacht, die Beziehungen zwischen Rotationswinkel, Strahleneinfallswinkel und Objektlage durch Unter-

suchungen an einer Reihe verschieden geformter, geometrisch einfacher Phantome zu untersuchen. Insgesamt wurden 206 Aufnahmen der verschiedenen Phantome ausgewertet. Wir hoffen, damit die Frage einer Klärung näherzubringen, wieso die Qualität von Transversalschichtaufnahmen mit einem Rotationswinkel von 180 Grad von den verschiedenen Autoren so außerordentlich unterschiedlich beurteilt wird. Mit der Beantwortung dieser Frage läßt sich dann auch entscheiden, ob bei Transversalschichtaufnahmen mit einem Rotationswinkel von 180 Grad am liegenden Patienten in einem ausreichend hohen Prozentsatz befriedigende Ergebnisse erzielt werden können.

II. A u f n a h m e b e d i n g u n g e n .

=====

Am Transversalplanigraphen der Siemens-Reiniger-Werke AG., den wir für unsere Untersuchungen verwendet haben, sind für eine Umdrehung von 360 Grad Rotationszeiten von 1,6 - 3,5 - 5,0 Sekunden einzustellen. Objekt und Film rotieren bei jeder Aufnahme zweimal um 360 Grad, wobei etwa 300 Grad Vorlauf und 60 Grad Nachlauf sind. Dazwischen liegt mit 360 Grad Rotation die Zeit der Exposition.

Die Aufnahmen an dem Transversalschichtgerät werden mit einer Pantix - Öldrehanodenröhre vom Typ P 125/30/50 ö ausgeführt, die an einen Drehstromapparat 'Tridoros 3' angeschlossen ist. Die Spannung kann von 56 bis 120 kV stufenlos geregelt werden. Die Stromstärke ist durch eine Registerschaltung im voraus festgelegt. Für die vorliegenden Versuche konnte nur ein Register mit rund 30 mA verwendet werden. Die Belichtungszeit betrug in dem für die Versuche in Betracht kommenden Regelbereich 1,2 - 1,6 - 2,0 - 2,4 - 3,0 - 4,0 - 5,0 Sekunden.

Der Einfallswinkel der Röntgenstrahlen kann theoretisch zwischen 0 und 90 Grad liegen. Praktisch ist dies jedoch nicht möglich. Beim Versuchsgerät lag das Maximum bei 35, das Minimum bei 0 Grad. Für die Versuche wurden die Einfallswinkel 10, 15, 20, 25, 30 und 35 Grad verwendet.

Der Filmachsenröhrendrehpunktsabstand betrug 2,00 m.

Die Größe des ausgeleuchteten Feldes wurde so gewählt, daß auf dem Filmträger die Kassette voll ausgeleuchtet wurde. War das Phantom während der Exposition nicht voll ausgeleuchtet gewesen, so zeigte sich auf dem Film ein kreis- oder ringförmiger Verwischungsschatten, der aber nicht störte. Die Verwischung war umso homogener, je vollständiger das Phantom ausgeleuchtet war.

Es wurden handelsübliche Röntgenfilme im Format 35,6 x 35,6 cm und 24 x 30 cm mit feinzeichnenden (Rubin-) Folien verwendet.

Da die Belichtung normalerweise am Anfang und Ende einer Vollrotation von 360 Grad ein- bzw. ausgeschaltet wird, mußten Aufnahmen mit kleinerem Rotationswinkel als 360 Grad durch vorzeitige Belichtungsunterbrechung erzielt werden. Hierfür gab es zwei Wege:

- 1.) Die Belichtung konnte von Hand während der Rotation abgeschaltet werden.
- 2.) Sie konnte automatisch dadurch unterbrochen werden, daß man die Belichtungszeit kürzer als die Zeit der Rotationsdauer wählte.

Die zweite Methode hatte den Vorteil der größeren Genauigkeit, obwohl infolge der am Schalttisch festgelegten Belichtungszeiten keine so große Variationsbreite wie bei der ersten Methode zu erhalten war. Wenn nämlich bei Serien von mehreren Aufnahmen das Objekt bei Expositionsschluß stets genau die gleiche Stellung zum Zentralstrahl haben sollte, was vor allem bei Aufnahmen mit kleinerem Rotationswinkel als 360 Grad wichtig war, kam nur die automatische Belichtungsunterbrechung in Frage.

Eine Schwierigkeit, die man auch bei der ersten Methode nicht hätte umgehen können, bestand darin, daß man mit der Registerschaltung bei verschiedenen Belichtungszeiten nur schwer das gleiche mAs - Produkt einstellen konnte. Um eine einheitliche Schwärzung der Aufnahmen zu erreichen, mußte daher manchmal die Spannung geändert werden. Dies war jedoch auch nur begrenzt möglich, da aus schalttechnischen Gründen die Spannung nicht niedriger als 56 kV gehalten werden konnte.

Um einen Maßstab zum Vergleich von Aufnahmen mit verschiedenem Rotationswinkel zu haben, wurde versucht, im Rahmen der vorhandenen Möglichkeiten durch Änderung der Belichtungszeit die Rotationswinkel 90, 180, 270 und 360 Grad zu erreichen. Dies gelang für die Winkel 90, 180 und 360 Grad. Für den Winkel 270 Grad war es nicht möglich. Im einzelnen ergaben sich aus der Kombination der drei Rotationszeiten mit den am Schalttisch festgelegten Zeiten folgende Möglichkeiten:

Belichtungszeit (in Sekunden)	Rotationszeit (in Sekunden)	Rotationswinkel (in Grad u. Min.)	
1,2	1,6	270	
1,6		360	
2,0		-	
2,4		-	
3,0		-	
4,0		-	
5,0		-	
1,2	3,5	122	48
1,6		164	20
2,0		205	42
2,4		246	50
3,0		308	33
4,0		-	-
5,0		-	-
1,2	5,0	86	38
1,6		115	12
2,0		144	-
2,4		172	48
3,0		216	-
4,0		288	-
5,0		360	-

Die ersten Probeaufnahmen zeigten, daß die gewünschte Schwärzung bei 58 kV und 50 mAs erhalten wurde. Bei einer Vollrotation (360 Grad) mit einer Belichtungszeit von 1,6 Sekunden entspricht dies einer Stromstärke von etwa 31 mA, die an dem sonst für die Transversalschichtuntersuchung benutzten Register eingestellt war. Da an den anderen Registern des gleichen Arbeitsplatzes Stromstärken von 100 bzw. 500 mA eingestellt waren, konnten wir von den Werten der obenstehenden Tabelle nur die Rotationswinkel benutzen, die mit einer Belichtungszeit von 1,6 (notfalls auch 1,2) Sekunden erreicht wurden. Es ergaben sich also Winkel von ungefähr 90, 180 und 360 Grad. Alle anderen Belichtungszeiten konnten nicht verwendet werden, da infolge mehr oder weniger großer Abweichung des mAs - Produktes vom erwünschten Wert eine zu große Änderung der Spannung notwendig geworden wäre. Damit wäre eine Vergleichbarkeit solcher Aufnahmen fraglich geworden. Wir haben daher im allgemeinen (soweit nicht die Eigenart eines Phantoms Änderungen notwendig machte) folgende Werte verwendet:

1. für einen Rotationswinkel von 360 Grad

Rotationszeit	1,6 sec.	57 kV	
Belichtungszeit	1,6 sec.	31 mA	50 mAs

2. für einen Rotationswinkel von etwa 180 Grad

Rotationszeit	3,5 sec.	57 kV	
Belichtungszeit	1,6 sec.	31 mA	50 mAs

3. für einen Rotationswinkel von etwa 90 Grad

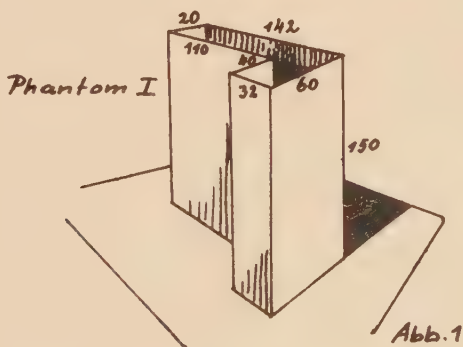
Rotationszeit	5,0 sec.	65 kV	
Belichtungszeit	1,2 sec.	31 mA	37 mAs

III. V e r s u c h e .

=====

a.) Vertikal stehende Objektelemente bei konstantem Einfallswinkel.

Versuchsanordnung: Das unregelmäßige Phantom I (Abb. 1) bestand aus 1,5 mm starkem Aluminiumblech. Die Befestigung erfolgte mittels einer horizontalen Pertinaxplatte und zweier Schraubzwingen zwischen den zur Stütze des Patienten am Gerät angebrachten vertikalen Holzbacken. Das Phantom war so angeordnet, daß bei Belichtungsbeginn immer die gleiche Stellung zur vertikalen Ebene des Zentralstrahls gegeben war.



Die Maße in mm sind aus Abbildung 1 zu ersehen.

Der Einfallswinkel betrug 20 Grad, die untersuchten Rotationswinkel 90, 180 und 360 Grad.

Ergebnis: 1.) Wenn die vertikale Ebene des Zentralstrahls in der Ausgangsstellung senkrecht zu den Längsseiten des Phantoms stand, wurden bei einem Rotationswinkel von 90 Grad nur die Schmalseiten des Phantoms abgebildet. Die Längsseiten gelangten nicht zur Darstellung. Der Bereich des Verwischungsschattens war etwas größer als 90 Grad. Insgesamt war die Wiedergabe des Phantomquerschnittes so unvollkommen, daß

ein Rotationswinkel von 90 Grad für die Praxis nicht in Frage kommt (Abb. 2). Er ist deshalb bei den folgenden Versuchen nicht mehr berücksichtigt worden.

2.) Die Aufnahmen bei einem Rotationswinkel von 180 Grad (Abb. 3) zeigten keinen großen Unterschied zu den Aufnahmen mit Vollrotation (Abb. 4). Der auf dem Film sichtbare Umriss des Phantoms ließ eine kaum feststellbare Verbesserung der Darstellung der Ecken und Verminderung der Schärfe der dargestellten Längsseiten bei einem Rotationswinkel von 180 Grad gegenüber dem von 360 Grad erkennen. Insgesamt machte die Querschnittswiedergabe bei Vollrotationsaufnahmen einen vollständigeren Eindruck als bei Halbrotaationsaufnahmen.

Bei beiden Rotationswinkeln schien ein Unterschied in der Abbildungsschärfe zwischen radial und tangential zum Drehpunkt stehenden Objektelementen von Phantom I zu bestehen.

b.) Untersuchung von Objektelementen mit Neigungswinkeln bis 45 Grad zur Horizontalebene bei konstantem Einfallswinkel.

Da sich schräg liegende Strukturen wahrscheinlich in ihren horizontalen Querschnitten schlechter als vertikal angeordnete Objekte abbilden ließen, konnte man mit ersteren Unterschiede in der Bildgüte bei verschiedenen Rotationswinkeln voraussichtlich besser sichtbar machen.

Versuchsanordnung: Flachstäbe aus Aluminium (Breite 15, Stärke 1,5 mm) von verschiedener Länge wurden in Phantom I befestigt (Phantom II, Abb. 5). Es wurden vier Stäbe verwendet; die Längen waren so bemessen, daß sich bei diagonalen Anordnung in Phantom I Neigungswinkel von 10, 20, 30 und 45 Grad ergaben (Abb. 6). Durch Anordnung der Stäbe in Phantom I war eine sofortige Vergleichsmöglichkeit der Wiedergabe senkrecht und schräg liegender Objektelemente gegeben.

Der Einfallswinkel betrug 20 Grad, die Rotationswinkel 180 und 360 Grad. Die Schichthöhe lag zunächst 5 mm über

dem Boden des Phantoms, später wurde sie zur besseren Darstellung der Störschatten des schräg liegenden Stabes in die Höhe von dessen Schnittpunkt mit der Objektdrehachse verlegt.

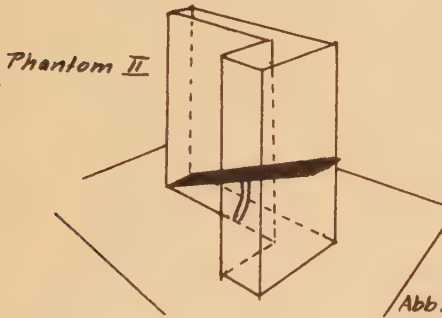


Abb. 5



Abb. 6

Ergebnis: Es zeigte sich, daß in jedem Fall die Abbildung schräg liegender Objektelemente wesentlich von deren Neigungswinkel zur Horizontalebene abhängig war.

Waren bei senkrecht stehenden Objektteilen die transversalen Querschnittsbilder bei einer Rotation von 180 Grad und einem Einfallswinkel von 20 Grad nur wenig schlechter als bei entsprechender Vollrotation wiedergegeben worden, so trat der Unterschied in der Querschnittswiedergabe der Schrägstruktur umso deutlicher auf, je kleiner ihr Winkel zur transversalen Ebene war (Abb. 7 - 9).

Sowohl bei Halb- als auch bei Vollrotation ergab sich die beste Abbildung bei einem Strukturneigungswinkel von 45 Grad, die schlechteste bei einem Winkel von 10 Grad, doch war im letzten Falle die Vollrotationsaufnahme der Halbrotaationsaufnahme bei weitem nicht so überlegen wie im ersten Falle. Dies kam daher, daß selbst die Vollrotationsaufnahmen bei flacheren Strukturneigungswinkeln als 20 Grad wegen der allzu verzerrten Wiedergabe des Stabquerschnittes keine brauchbaren Ergebnisse mehr lieferten.

c.) Variierung des Einfallswinkels bei vertikal und schräg stehenden Objektelementen.

Um festzustellen, ob sich die bei a.) und b.) erhaltenen Ergebnisse durch weitgehende Variierung des Einfallswinkels ändern würden, wurden die folgenden Versuche gemacht.

Versuchsanordnung: Die Anordnung war die gleiche wie bei b.). Für die schräg stehenden Objektelemente wurden Neigungswinkel von 10 und 45 Grad verwendet.

Die Rotationswinkel betrugen 180 und 360 Grad, die Einfallswinkel 10, 15, 20, 25, 30 und 35 Grad.

Ergebnis: 1.) senkrecht stehende Objektelemente.

Für einen Rotationswinkel von 360 Grad lag das Optimum bei einem Einfallswinkel von etwa 10 Grad, während für einen Rotationswinkel von 180 Grad dieses Optimum bei einem Einfallswinkel von 25 bis 30 Grad lag. Die Beurteilung des Optimums bleibt insofern auf den subjektiven Eindruck beschränkt, als Störschatten und Kontrast nicht in objektive Beziehung zueinander gesetzt werden können. Da senkrecht stehende Objektelemente unter allen Bedingungen relativ gut abgebildet werden, lassen sich die hier geschilderten Ergebnisse bei der Reproduktion einer einzelnen Abbildungsreihe schlecht erkennen. Sie wurden beim Vergleich mehrerer Aufnahmeserien (auch Versuch e.) gewonnen.

2.) schräg angeordnete Objektelemente (Abb. 10 - 15).

Hier war festzustellen, daß für beide Rotationswinkel mit steiler werdendem Einfallswinkel das Ergebnis schlechter wurde. Die Halbrotaionsaufnahmen waren mehr vom Einfallswinkel abhängig als die Vollrotationsaufnahmen. Das beste Ergebnis zeigte sich bei beiden Rotationswinkeln bei einem Einfallswinkel von etwa 10 Grad. Während aber zum Beispiel bei Einfallswinkeln bis 35 Grad und einem Strukturneigungswinkel von 45 Grad sämtliche Vollrotationsaufnahmen brauchbare Resultate ergaben, trat bei Halbrotaion schon bei größeren Einfallswinkeln als 20 Grad der durch die Projektion des schräg liegenden Stabes entstehende Störschatten

so stark in Erscheinung, daß die Abbildung des Querschnittes kaum noch zu erkennen war.

In jedem Fall ergaben Objektelemente mit größerem Neigungswinkel zur Horizontalen bessere Querschnittsbilder als solche mit kleinerem Neigungswinkel.

- d.) Untersuchung von Halbrotaationsaufnahmen in Bezug auf die Stellung von Objekten (schräge Objektelemente) zur Einfallsebene des Zentralstrahls im Moment des Belichtungsbeginns.

Da bei Aufnahmen mit kleinerem Rotationswinkel als 360 Grad die Stellung des Objekts zum Zentralstrahl bei Belichtungsbeginn eine Rolle spielt, wurde die schräg liegende Schicht (deren Neigungswinkel zur Horizontalen wieder je 10, 20, 30 und 45 Grad betrug) in verschiedenen Ausgangsstellungen angeordnet.

Versuchsanordnung: Der schräge Aluminiumstab war in Phantom I befestigt (Phantom II). Es wurden beide Diagonalen ausgenützt, um eine größere Variationsbreite zu erhalten. Die beiden Diagonalen sind hier als positiver und negativer Neigungswinkel bezeichnet (Abb. 17). Phantom I war in zwei verschiedenen Stellungen zum Zentralstrahl bei Belichtungsbeginn angeordnet worden. Diese unterschieden sich durch einen Drehwinkel von 45 Grad, bezogen auf die Längsachse des Phantomteils, in den die schräg liegenden Stäbe eingebracht waren (Abb. 16).

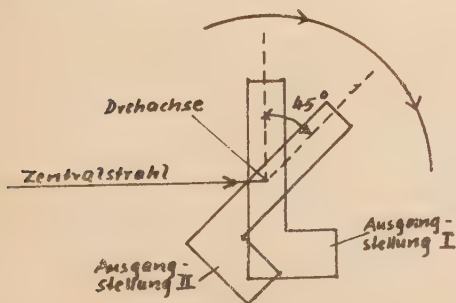


Abb. 16



Abb. 17

- I) 90 Grad zur Ebene des Zentralstrahls (Grundstellung).
- II) 45 Grad zur Grundstellung (Abb. 16).

Es ergaben sich also bei Verwendung beider Stellungen und beider Neigungswinkel folgende vier Möglichkeiten:

- 1.) Ausgangsstellung I mit positivem Neigungswinkel
(Grundstellung)
- 2.) Ausgangsstellung II mit positivem Neigungswinkel
- 3.) Ausgangsstellung I mit negativem Neigungswinkel
- 4.) Ausgangsstellung II mit negativem Neigungswinkel

Als Grundstellung wurde Ausgangsstellung I gewählt, wobei der Aluminiumstab quer zur Ebene des einfallenden Zentralstrahls (Winkel 90 Grad) angeordnet war. Auf eine Stellung des Stabes in der Einfallsrichtung des Röntgenlichtes wurde verzichtet, da in diesem Fall die Halbrodation des Stabes mit positivem Neigungswinkel das gleiche Ergebnis wie die mit negativem Neigungswinkel ergibt. Lediglich der halbkreisförmige Verwischungsschatten liegt einmal rechts und einmal links des abgebildeten Stabquerschnittes. Die entstehenden Aufnahmen sind daher symmetrisch. Der Winkel der geänderten Stellung II zur Grundstellung I wurde deshalb zu 45 Grad gewählt. Hier ergeben positiver und negativer Neigungswinkel Unterschiede.

Von der vertikalen Ebene des Zentralstrahls im Uhrzeigersinn gemessen, entsprechen bei Betrachtung der Apparatur von oben den vier Stabstellungen im Raum folgende vier Winkel:

- 1.) 90 Grad
- 2.) 135 Grad
- 3.) 270 Grad
- 4.) 315 Grad

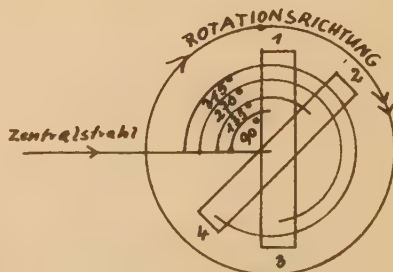


Abb. 18

Die vier Winkel geben die Lage des Phantoms zum einfallenden Röntgenlicht im Moment des Belichtungsbeginns an.

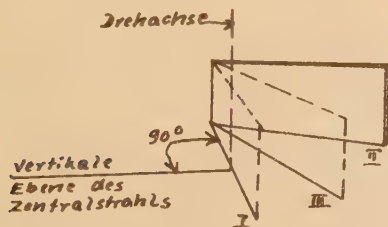
Der Einfallswinkel betrug 20 Grad, der Rotationswinkel 180 Grad.

Ergebnis: Schärfe der Abbildung und Genauigkeit der Wiedergabe sind sehr vom Belichtungsbeginn abhängig. In obiger Versuchsreihe waren die Bedingungen für Stellung 2 (135 Grad) am ungünstigsten gewesen, während für Stellung 3 (270 Grad) die besten Ergebnisse erzielt wurden (Abb. 19, 20). Die Qualität dieser Aufnahmen kam der Qualität der entsprechenden Vollrotationsaufnahmen am nächsten. Dies ließ sich für alle vier verwendeten Strukturneigungswinkel nachweisen.

e.) Versuche über die Stellung von Objekten zur Drehachse des Objektträgers.

Da es nach den Ergebnissen von Versuch a möglich erschien, daß verschiedene Stellung oder Entfernung eines Objektes zur Objektdrehachse Einfluß auf die Wiedergabe des gewünschten Querschnittes hatte, wurden diesbezüglich Versuche mit verschiedenen Einfalls- und Rotationswinkeln durchgeführt.

Versuchsanordnung: Phantom III war eine Aluminiumplatte 140 x 40 x 1,5 mm, die senkrecht zur Horizontalebene angebracht war (Abb. 21). Die Anordnung wurde so getroffen, daß das eine Ende von Phantom III Drehpunkt, das andere frei beweglich war und es ermöglichte, das Phantom in die drei in Abb. 21 angegebenen Stellungen zu bringen.



Stellung I radial

Stellung II tangential

Stellung III Zwischenstellung.

Abb. 21

Als Grundstellung wurde Stellung I so gewählt, daß die Mitte des Phantoms mit der Objektdrehachse zusammenfiel und bei Belichtungsbeginn die Breitseite im Winkel von 90 Grad zur vertikalen Ebene des Zentralstrahls stand.

Die Einfallswinkel betrugen 10, 15, 20, 25, 30 und 35 Grad, die Rotationswinkel 180 und 360 Grad für jede der drei oben angegebenen Stellungen.

Ergebnis: Bei beiden Rotationswinkeln waren die Aufnahmen des tangential gestellten Phantoms besser als die des radial gestellten (Abb. 22, 23). Für alle drei Stellungen waren bei flachem Einfallswinkel die Vollrotationsaufnahmen besser als die Halbrota-tionsaufnahmen. Mit größer werdendem Einfallswinkel wurden in diesem Fall die Halbrota-tionsaufnahmen jedoch so viel besser, daß sie die Qualität der Vollrotationsaufnahmen fast erreichten.

Die im folgenden durchgeführten Versuche dienten, wie zum Teil schon der Versuch e, der Untersuchung von Besonderheiten, die sich bei den Aufnahmen der Versuche a - d gezeigt hatten.

f.) Untersuchung senkrecht stehender Objektelemente.

Nachdem bei den Versuchen a und c immer ohne Rücksicht auf Einfalls- oder Rotationswinkel die Schmalseiten der einzelnen senkrechten Objektelemente eines Phantomquerschnittes schärfer abgebildet worden waren als die Längsseiten, wobei ein fließender Übergang zwischen den Enden und dem mittleren Teil vorhanden war, wurde festzustellen versucht, inwiefern sich dieses Phänomen durch Änderung der Form des Phantoms, der Neigung des Phantoms zur Horizontalebene und der Schwächungsunterschiede zwischen dem Phantom und seiner Umgebung beeinflussen ließ.

1.) Es mußte geklärt werden, ob die Unschärfe in der Mitte geradliniger Objektelemente dadurch zustande kam, daß

die Mitte des Phantoms mit der Drehachse zusammenfiel. Deshalb wurde

- a) das Phantom tangential und in verschiedenen Entfernungen zur Drehachse angeordnet (siehe Versuch e);
- b) eine Schmalseite von Phantom III in die Objektdrehachse verlegt.

Ergebnis: Das Phänomen der Unschärfe trat in beiden Fällen unverändert auf.

2.) Es sollte festgestellt werden, ob das Phänomen der mittleren Unschärfe von den Schwächungsunterschieden zwischen dem Phantom und seiner Umgebung abhängig war. Phantom III wurde deshalb in ein dichteres Medium (Wasser) eingebettet, um die Schwächungsunterschiede dadurch zu verringern. Die Belichtung wurde den neuen Verhältnissen angepaßt.

Die Rotationswinkel betrugen 180 und 360 Grad, der Einfallswinkel 35 Grad. Kleinere Einfallswinkel als 35 Grad ließen wegen des zu gering werdenden Kontrastes den Phantomquerschnitt nicht mehr erkennen.

Ergebnis: Das Phänomen der Unschärfe hing nicht von den Schwächungsunterschieden zwischen dem Phantom und seiner Umgebung ab. Es trat unverändert auf. Die Halbrotaationsaufnahmen waren auch bei diesen Versuchen den Vollrotationsaufnahmen unterlegen.

3.) Es war nach den Versuchen 1 und 2 anzunehmen, daß die ungleich scharfe Abbildung einzelner Teile senkrecht stehender Objektelemente durch extrem scharfe Projektion der ganzen Phantomhöhe in dem Moment entstanden sein mußte, wo sich die senkrecht stehende Fläche mit der vertikalen Ebene des einfallenden Röntgenlichtes deckte. Die Richtigkeit dieser Annahme wurde durch Verdoppelung und Verdreifachung der Höhe von Phantom III geprüft.

Ergebnis: Bei einer Schichthöhe, die der halben Phantomhöhe entsprach, zeigte sich das Phänomen der Unschärfe unverändert. Bei Verlegung der Schichthöhe, etwa 5 mm über den Boden des Phantoms, wurde die Mitte schärfer abgebildet als sonst, doch waren die Enden wieder am schärfsten dargestellt.

4.) In den folgenden Versuchen sollte geklärt werden, ob das Phänomen der Unschärfe daher rührte, daß von der Mitte des Phantoms die größte Streuung ausging. Um die Streuverhältnisse zu verändern, wurde Phantom III am oberen Rand konkav ausgeschnitten. Die eine Hälfte der Konkavität bildete ein Kreissegment, die andere war stufenförmig gestaltet, um den Übergang der unscharfen Mitte zum scharf abgebildeten Ende einmal fließend und einmal abgestuft zu erhalten (Phantom IV, Abb. 25).

Ergebnis: Die mittlere Unschärfe trat auch hier wieder auf (Abb. 24). Die Streuwirkung des Phantoms hatte also keinen Einfluß auf die Schärfe der Abbildung. Die Transversalschichtaufnahmen des gekippt und auch des beliebig im Raum angeordneten Phantoms IV zeigten das Phänomen der Unschärfe ebenfalls.

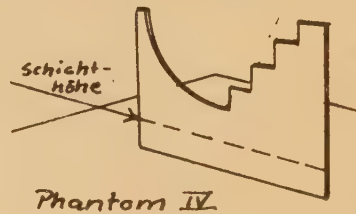


Abb. 25

5.) Das Phantom III wurde daraufhin so angeordnet, daß in der Höhe der gewählten Schicht die Schmalseiten nicht parallel verliefen (Abb. 26).



Abb. 26

Ergebnis: Das Phänomen der Unschärfe in der Mitte des Phantomquerschnittes zeigte sich auch hier unverändert.

g.) Untersuchung schräg liegender Objektelemente.
(Untersuchung der Störschatten.)

Auf sämtlichen Aufnahmen, bei denen schräg liegende Objektelemente verwendet worden waren, hatte sich ein kreuzförmiger, scharf begrenzter Schatten gezeigt, dessen beide Balken einen Winkel kleiner 90 Grad miteinander bildeten und in deren Schnittpunkt der in der gewünschten Höhe liegende Objektquerschnitt abgebildet war. Auf bestimmten Halbrotationsaufnahmen hatte sich nur ein Balken des sonst kreuzförmigen Schattens gezeigt. Die Entstehung dieses Schattens sollte untersucht werden.

Versuchsanordnung: Der Aluminiumstab wurde ohne Zuhilfenahme von Phantom I auf der Pertinaxplatte befestigt. Es wurden zunächst Vollrotationsaufnahmen dieser Phantomanordnung mit einer Belichtungszeit von 1,6 sec. ausgeführt. (Abb. 27). Sodann wurde der Schlagschatten des schräg liegenden Stabes mehrmals übereinanderphotographiert, wobei der Stab jedesmal um einen bestimmten Winkel gedreht und dann ohne Rotation belichtet wurde. Im einzelnen wurden hierzu folgende Anordnungen getroffen:

- 1.) Aluminiumstab ohne Phantom I fixiert, Neigungswinkel 10 Grad zur Horizontalen. Momentaufnahme bei stehendem Rotationsgerät (Belichtung $1 \times 1,6$ sec.).
- 2.) Stab ohne Phantom I fixiert mit 10 Grad Neigungswinkel. Zwei Momentaufnahmen übereinanderphotographiert. Stab in Lage 3 (siehe Abb. 18) und dazu 90 Grad im Uhrzeigersinn gedreht (Belichtung $2 \times 0,8$ sec.): Abb. 28.
- 3.) Fixierter Stab ohne Phantom I mit 10 Grad Neigungswinkel. Vier Momentaufnahmen auf den gleichen Film. Stab in Lage 3 und dazu dreimal um 90 Grad weitergedreht (Belichtung $4 \times 0,4$ sec.).
- 4.) Weitere Unterteilung des Rotationskreises durch acht Stellungen des schräg liegenden Stabes, die einen Drehwinkelunterschied von je 45 Grad haben (Belichtung $8 \times 0,2$ sec.): Abb. 29.

- 5.) Sechzehn Unterteilungen des Rotationskreises. Zwei aufeinanderfolgende Stellungen unterscheiden sich durch einen Drehwinkel von 22,5 Grad (Belichtung 16 x 0,1 sec.).

Ergebnis: Die normale Vollrotationsaufnahme des schrägen Aluminiumstabes ohne Phantom I ergab den gleichen Kreuzschatten wie bei Phantom II.

Die Mehrfachbelichtungen bei verschiedenen Winkelstellungen zeigten, daß bei 1 der Schatten des auf den Film projizierten Stabes durch dessen Schräglage so lang war, daß seine Begrenzung außerhalb des Films lag.

Bei 2 zeigte sich, daß die übereinanderprojizierten Schatten einen wesentlich kleineren Winkel als 90 Grad miteinander bildeten, obwohl die Stellungen des Aluminiumstabes einen Winkel von 90 Grad gebildet hatten.

Bei 3, 4 und 5 zeigte sich ergänzend, daß sich bei Fortsetzung der Unterteilungen die Schatten hauptsächlich an zwei Stellen näherten bzw. überdeckten, während die Zwischenstellen fast schattenfrei waren. Die Schattenintensität nahm vom Zentrum zur Peripherie hin ab.

IV. D i s k u s s i o n d e r E r g e b n i s s e .

=====

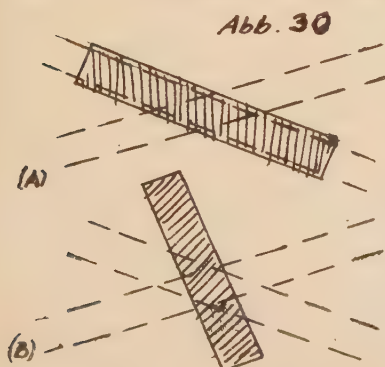
Die Untersuchung von kleineren Rotationswinkeln als 360 Grad zeigt bei Einhaltung eines konstanten Einfallswinkels für senkrecht zur Horizontalebene stehende Objektelemente (Versuch a), daß der Rotationswinkel von 90 Grad (Viertelrotation) nur sehr unzureichende Aufnahmen ergibt. Der Gesamtquerschnitt des Phantoms ist nur in einzelnen Teilen abgebildet. Die Unzulänglichkeit dieser Aufnahmen ist so offenkundig, daß eine Verwendung der Viertelrotation für Transversalschichtaufnahmen ausgeschlossen werden kann.

Sie wird deshalb in der weiteren Diskussion nicht mehr beachtet.

Die Untersuchung von Aufnahmen mit einem Rotationswinkel von 180 Grad zeigt,

- 1.) daß je nach Objektstellung bei Belichtungsbeginn sehr unterschiedliche Ergebnisse auftreten können. Der auftretende Störschatten kann hierbei außerordentlich in Form und Richtung variieren (Versuch d).
- 2.) die unterschiedliche Abhängigkeit der Querschnittswiedergabe zwischen senkrecht und schräg zur Horizontalebene angeordneten Objektele menten vom Einfallswinkel (Versuch c).
- 3.) die unterschiedliche Darstellung schräg liegender Objektele mente in Abhängigkeit von deren Neigungswinkel zur Horizontalen (Versuche b und c).

Zu 1: Der Belichtungsbeginn ist dafür entscheidend, ob einer der beiden Balken des kreuzförmigen Störschattens schwächer, gleichgut wie der andere oder überhaupt nicht abgebildet wird. Der letzte Fall zeigte sich bei den Versuchen, bei welchen sich der Aluminiumstab in Stellung 1 und 3 (siehe Abb. 18) befand. Zur Veranschaulichung sei der schräg liegende Aluminiumstab bei Betrachtung von oben über den kreuzförmigen Schatten der Aufnahme gezeichnet (Abb. 30). War die Anordnung des Phantoms so getroffen, daß bei Belich-



tungsbeginn und Belichtungs-
schluß der Projektionsschatten
des schräg liegenden Stabes mit
einer der beiden Schattenhäu-
fungsstellen (denn als solche
hatten sich die auf den Aufnah-
men auftretenden gekreuzten
Schatten bei Versuch g heraus-
gestellt) zusammenfiel, so schnitt
während der Halbro tation das Phan-
tom nur einmal eine Stelle, wo

die Übereinanderprojektion der Schatten des sich drehenden Phantoms eine Schattenhäufung ergab (Abb. 30 a). Wir erhielten in diesem Fall also nur einen einzigen schrägen Summationsschatten; der andere Schatten fehlte. Je nach Stablage bei Belichtungsbeginn war der Schatten breit oder schmal: bei Stellung 1 trafen die Röntgenstrahlen während der Rotation hauptsächlich die Breitseite des Phantoms; der Summationsschatten war breit. Bei Stellung 3 wurde hauptsächlich die Schmalseite getroffen; der Schatten war schmal.

Der Aluminiumstab in Stellung 2 und 4 dagegen schneidet während der Rotation beide Schattenhäufungspunkte (Abb. 30 b). Es tritt der kreuzförmige Schatten auf. Diese Aufnahmen sind daher den Vollrotationsaufnahmen ähnlicher als Aufnahmen der Stellungen 1 und 3, jedoch qualitätsmäßig den Vollrotationsaufnahmen stärker unterlegen.

Zu 2: a) Die Beziehung senkrecht stehender Objektelemente zum Einfallswinkel.

Es zeigt sich, daß mit steiler werdendem Einfallswinkel das Ergebnis besser wird. Das Optimum liegt bei einem Einfallswinkel von 25 - 30 Grad. Der hierbei auftretende erhöhte Kontrast kommt in jedem Fall mehr der Abbildung des Querschnittes zugute, da infolge reduzierter Störschatten bei der Halbrodation bei Vergrößerung des Einfallswinkels deren Kontrast sich weniger erhöht als bei der Vollrotation. Hinzu kommt, daß die mit größeren Einfallswinkeln zunehmende Schichtdicke bei den senkrechten Objektelementen der von uns verwendeten Phantome nicht störend in Erscheinung trat.

b) Die Beziehung schräg zur Horizontalebene liegender Objektelemente zum Einfallswinkel.

Sie ist unter Berücksichtigung der bei 1) beschriebenen Variationsbreite in der Wiedergabe von Objektquerschnitten bei verschiedenem Belichtungsbeginn in Abb. 31 graphisch dargestellt. Für die praktische Brauchbarkeit der graphischen Darstellung können nur für die Vollrotation eindeu-

tige Werte abgelesen werden. Für die Werte der Halbrota-tionsaufnahmen muß ein Kompromiß zwischen besten und schlechtesten Anordnungsbedingungen geschlossen werden, da es unmöglich ist, die sich aus einer beliebigen Stel-lung des Objekts zum Zentralstrahl bei Belichtungsbeginn ergebende Bildqualität im voraus zu bestimmen. In der graphischen Darstellung ist daher nur die Variationsbrei-te der Bildgüte mit den Grenzen günstigster und ungünstig-ster Bedingungen angegeben.

Erläuterung zur graphischen Darstellung:

Die Gerade S gibt den günstigsten Einfallswinkel für Strukturneigungswinkel bis 45 Grad an. Die Geraden V, HG und HU stellen die Trenn-

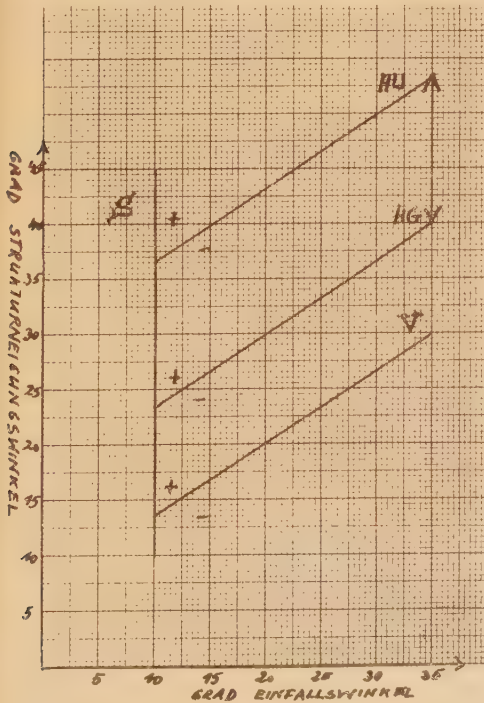


Abb. 31

ungslinien zwischen qualitätsmäßig brauch-baren und unbrauchbaren Aufnahmen dar. Die Werte für brauchbare Aufnah-men liegen oberhalb (+), für unbrauchbare Auf-nahmen unterhalb (-) der zugehörigen Trennungs-linie. Die Trennungslinie V gilt für die Voll-rotation, die Trennungs-linien HU und HG gelten für die Halbrota-tion, wobei die Linie HG für die günstigste, die Linie HU für die ungünstigste Lage schräg liegender Ob-jektelemente gezeichnet ist.

Die Strecke zwischen HG und HU bezeichnet die Varia-tionsbreite der Phantomlage bzw. den qualitätsmäßigen Unter-

schied, der bei Halbrotaionsaufnahmen auftreten kann.

Soll die Aufnahme eines Objekts mit einem festliegenden Neigungswinkel und bestimmten Einfallswinkel gemacht werden, so suche man in der graphischen Darstellung den Schnittpunkt der beiden Winkel und fälle das Lot auf die Trennungslinie des gewünschten Rotationswinkels. Der Abstand des Schnittpunktes von der Linie ist dann ein Maß für die Qualität der Aufnahme. Je größer der Abstand ist, desto besser wird die Darstellung, wenn der Schnittpunkt oberhalb der zugehörigen Trennungslinie liegt. Liegt er unterhalb der Linie, so ist die Darstellung umso schlechter, je größer der Abstand ist.

Es ist zu ersehen, daß in jedem Fall die Vollrotation bessere Ergebnisse liefert als die Halbrotaion, denn die Entfernung eines jeden Punktes zur Linie V ist im negativen Feld geringer als zur Linie HG, im positiven Feld aber größer.

Zu 3: Strukturen mit einem Neigungswinkel von 45 Grad zur Horizontalen ließen sich bei Halbrotaion viel besser darstellen als solche mit einem Neigungswinkel von 10 und 20 Grad. Die Abweichung von noch brauchbaren Resultaten war bei Halbrotaionsaufnahmen und kleinen Neigungswinkeln größer als bei den entsprechenden Vollrotationsaufnahmen. Dies war für alle Einfallswinkel festzustellen und ist in der graphischen Darstellung festgehalten. Je steiler der Neigungswinkel eines Objektelementes zur Horizontalebene ist, desto steiler kann der Einfallswinkel gewählt werden. Ein flacher Einfallswinkel ist aber immer einem steilen Einfallswinkel vorzuziehen.

Die Untersuchung der Vollrotationsaufnahmen bei verschiedenen Einfallswinkeln zeigt, daß für senkrechte und schräge Strukturen die besten Resultate mit möglichst flachem Einfallswinkel erzielt werden (Versuch c).

Schräg liegende Objektelemente mit steilerem Neigungswinkel zur Horizontalebene ergeben bessere Querschnittsbil-

der als solche mit flachem Neigungswinkel.

Das von uns bei vielfacher Variation der Untersuchungsbedingungen und Phantome immer wieder festgestellte Phänomen, daß schmale geradlinige, bandförmige Schattengebilde auf Transversalschichtaufnahmen in ihrer Mitte weniger scharf als an ihren Enden abgebildet werden, konnten wir experimentell nicht klären. Bei der Durchsicht von Phantomaufnahmen anderer Autoren (z.B. J a n k e r) ließ sich die gleiche Erscheinung erkennen. Der Versuch, die teilweise Unschärfe geradliniger Strukturen auch auf Transversalschichtaufnahmen vom isolierten Skelett oder vom Patienten nachzuweisen, führte zu keinem Ergebnis. Wir führen diese Tatsache darauf zurück, daß am menschlichen Körper in der Regel nur weniger ausgedehnte geradlinige Strukturen als an Phantomen zu finden sind. Hierdurch wird der Nachweis des Phänomens am anatomischen Objekt erschwert. Da es aber dessen ungeachtet am Phantom eindeutig vorhanden war, sollte man auch bei Untersuchungen am Patienten daran denken, daß diese Erscheinung gelegentlich die wirklichkeitsgetreue Wiedergabe transversaler Körperschichten beeinflussen kann.

Wenn man abschließend alle Ergebnisse von Transversalschichtaufnahmen mit Vollrotation und Halbrotaion vergleicht, so wird deutlich, daß stets der Vollrotation der Vorzug gegeben werden muß. Ausnahmen, wie sie bei dem Versuch e vorkamen, sind auf die besondere Anordnung und geometrische Form des verwendeten Phantoms zurückzuführen. Die Versuche derjenigen Autoren, die 180 Grad als einen ausreichenden Rotationswinkel für Transversalschichtaufnahmen ansehen, wurden offenbar mehr oder weniger zufällig mit solchen Objekten unternommen, bei denen der Rotationswinkel einen relativ geringen Einfluß auf die Abbildungsqualität hat, zumal wenn die Ausgangsstellung günstig gewählt war. Für Objekte, die in der gleichen Schichtebene Elemente verschiedener Neigung und Richtung enthalten, ist die Halbrotaionsaufnahme der Vollrotationsaufnahme aber

immer unterlegen. Da außerdem bei der Halbrota-tion infolge der vielen Möglichkeiten der Objektanordnung und damit der Störschattenform und -richtung die Störwirkung schichtfremder Objektteile nicht auf eine Norm gebracht werden kann, sind für die praktische Untersuchung von Patienten bei Halbrotationsaufnahmen nicht mit einer genügenden Regelmäßigkeit diagnostische Ergebnisse zu erwarten.

Auch bei der Transversalschichtuntersuchung gilt die schon von den übrigen Schichtaufnahmeverfahren bekannte Feststellung, daß die Aufnahmequalität für jeden Rotationswinkel umso besser wird, je mehr die Lage der interessierenden Objektelemente sich der zur Schichtebene senkrechten Ebene nähert.

Z u s a m m e n f a s s u n g .

=====

Es wird über Phantomuntersuchungen berichtet, mit denen die Beziehungen zwischen Rotationswinkel, Strahleneinfallswinkel und Objektlage bei der transversalen Schichtuntersuchung experimentell geklärt werden sollten. Die Auswertung von insgesamt rund 200 Aufnahmen bei 21 Phantomanordnungen zeigte, daß Aufnahmen mit einem Rotationswinkel von 180 Grad zwar in einzelnen Spezialfällen eine leidlich befriedigende Bildqualität ergeben können, daß sie jedoch bei der Aufnahme komplizierter geformter Objekte den Vollrotationsaufnahmen immer unterlegen sind und zu Täuschungen Anlaß geben können. Weiterhin konnten feste Beziehungen zwischen Strahleneinfallswinkel und Objektlage in Bezug auf die Bildqualität nachgewiesen werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in einem Diagramm dargestellt, das als Unterlage für die Wahl des Strahleneinfallswinkels bei Transversalschichtuntersuchungen vom Patienten dienen soll. Einige weitere Versuche dienten zur Überprüfung der Entstehungsursache von Störschatten.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, daß bei der Untersuchung am stehenden oder sitzenden Patienten mit einem Rotationswinkel von 360 Grad durch optimale Wahl der Aufnahmebedingungen fast in jedem Fall eine gute Qualität der Transversalschichtaufnahmen erzielt werden kann. Aufnahmen am liegenden Patienten werden grundsätzlich nur dann zu gleichguten Ergebnissen führen, wenn auch hierbei eine Vollrotation technisch ermöglicht wird.



Abb. 2 Phantom I
Rotationswinkel 90 Grad
Einfallswinkel 20 Grad



Abb. 3 Phantom I
Rotationswinkel 180 Grad
Einfallswinkel 20 Grad

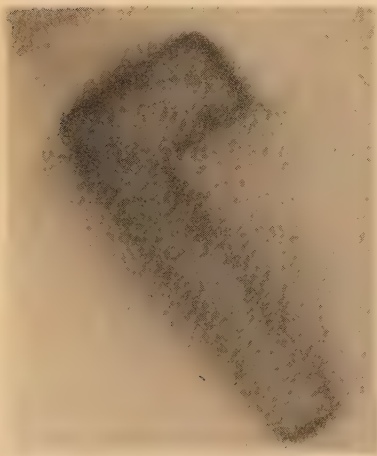


Abb. 4 Phantom I
Rotationswinkel 360 Grad
Einfallswinkel 20 Grad

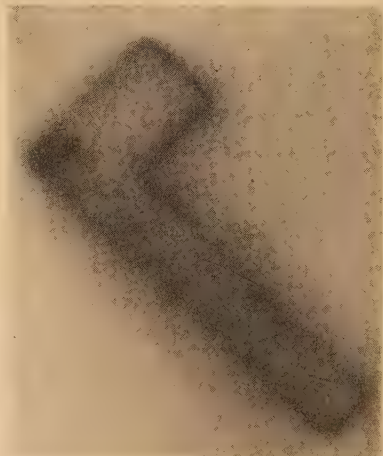


Abb. 7 Phantom II
Rotationswinkel 360 Grad
Einfallswinkel 20 Grad
Stabneigungswinkel 45 Grad



Abb. 8 Phantom II
Rotationswinkel 360 Grad
Einfallswinkel 20 Grad
Stabneigungswinkel 10 Grad



Abb. 9 Phantom II
Rotationswinkel 180 Grad
Einfallswinkel 20 Grad
Stabneigungswinkel 10 Grad



Abb. 10 Phantom II
Rotationswinkel 360 Grad
Einfallswinkel 15 Grad
Stabneigungswinkel 10 Grad



Abb. 11 Phantom II
Rotationswinkel 360 Grad
Einfallswinkel 35 Grad
Stabneigungswinkel 10 Grad



Abb. 12 Phantom II
Rotationswinkel 180 Grad
Einfallswinkel 15 Grad
Stabneigungswinkel 10 Grad



Abb. 13 Phantom II
Rotationswinkel 180 Grad
Einfallswinkel 35 Grad
Stabneigungswinkel 10 Grad



Abb. 14 Phantom II
Rotationswinkel 360 Grad
Einfallswinkel 15 Grad
Stabneigungswinkel 45 Grad



Abb. 15 Phantom II
Rotationswinkel 180 Grad
Einfallswinkel 35 Grad
Stabneigungswinkel 45 Grad



Abb. 19 Phantom II
Rotationswinkel 180 Grad
Einfallswinkel 20 Grad
Stabneigungswinkel 30 Grad
Stellung 2



Abb. 20 Phantom II
Rotationswinkel 180 Grad
Einfallswinkel 20 Grad
Stabneigungswinkel 30 Grad
Stellung 3



Abb. 22 Phantom III
Rotationswinkel 360 Grad
Einfallswinkel 10 Grad
Stellung I radial



Abb. 23 Phantom III
Rotationswinkel 360 Grad
Einfallswinkel 10 Grad
Stellung II tangential



Abb. 24 Phantom IV
Rotationswinkel 360 Grad
Einfallswinkel 20 Grad



Abb. 27 Stab allein
Rotationswinkel 360 Grad
Einfallswinkel 20 Grad



Abb. 28 Stab allein
Zwei Momentaufnahmen
Drehwinkelunterschied
90 Grad
Einfallswinkel 20 Grad



Abb. 29 Stab allein
Acht Momentaufnahmen
Drehwinkelunterschied
45 Grad
Einfallswinkel 20 Grad

L i t e r a t u r .
=====

- De Abreu , M.: Radiologia 7 (1944): 223.
- Del Buono , G.: Radiol. med. 40 (1954): 1208.
- Fra in , Ch. und L a c r o i x : J. radiol. électrol.
29 (1948): 256.
- G e b a u e r , A.: Tbk. Arzt 5 (1951): 151.
- G e b a u e r , A.: Fortschr. Röntgenstr. 71 (1949): 670.
- G e b a u e r , A.: Fortschr. Röntgenstr. 75 (1951): 9.
- G e b a u e r , A.: Das Schichtbildaufnahmeverfahren.
Erläuterung des gleichnamigen Lehr-
films aus dem Institut für Wissen-
schaftliche Filme, Erlangen.
- G e b a u e r , A. und W a c h s m a n n , F.:
Röntgen-Bl. 2 (1949): 215.
- G i a c o b i n i , E. und M a n z i , G.:
Radiol. med. 40 (1954): 37.
- H a m m e r , F.: Fortschr. Röntgenstr. 81 (1954): 513.
- J a n k e r , R.: Fortschr. Röntgenstr. 73 (1950): 253.
- K i e f f e r , J.: Amer. J. Roentgenol. 39 (1938): 497.
- O l i v a , L.: Radiol. med. 37 (1951): 433.
- O l i v a , L.: Radiol. med. 40 (1954): 1192.
- T a k a h a s h i , S.: Vortrag auf dem dritten internatio-
nalen Stratigraphie-Kurs, Genua,
10. Okt. 1955.
- V a l l e b o n a , A.: Trattato di Stratigrafia.
Milano 1952.
- V a l l e b o n a , A.: Radiol. med. 17 (1930): 1090.
- V i e t e n , H.: Fortschr. Röntgenstr. 62 (1940): 322.
- V i e t e n , H.: Fortschr. Röntgenstr. 67 (1943): 34.
- W a t s o n , W.: USA. Patent Nr. 293 720, Application
September 7, 1939.

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. N. H e n n i n g für die Überlassung des Themas dieser Arbeit sowie Herrn Dr. med. W. F r i k für wertvolle Anregungen bei den Versuchen und Unterstützung bei der Auswertung der Aufnahmen. Den Siemens-Reiniger-Werken Erlangen danke ich für die Anfertigung der verschiedenen Phantome.

Lebenslauf.

Ich, Helmut Jupitz, wurde als Sohn des Zahnarztes Dr. Walter Jupitz und seiner Ehefrau Elisabeth, geb. Rehmann am 18. Juli 1934 in Nürnberg geboren. Von 1940 bis 1943 besuchte ich dort die drei ersten Klassen der Volksschule. 1943 übersiedelte meine Familie nach Kirchheimbolanden (Rheinpfalz), wo ich nach der vierten Klasse in die Oberschule versetzt wurde. 1944 zog meine Familie durch kriegsbedingte Umstände nach Neustadt/Aisch, wo ich bis zur achten Klasse zur Oberschule ging. Die neunte Klasse absolvierte ich an der Oberrealschule in Fürth mit dem Abitur im Juni 1952. Im November des gleichen Jahres begann ich mit dem Studium der Zahnheilkunde an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen und bestand dort im Mai 1954 die zahnärztliche Vorprüfung und im Juli 1956 die zahnärztliche Prüfung.

